



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-557

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Aplicación de la herramienta de optimización logística MCPLAN para la planificación del transporte de madera rolliza y biomasa: Un caso de estudio en Asturias

ACUNA M.¹, CANGA, E.² y SÁNCHEZ-GARCÍA, S.²

¹ Australian Forest Operations Research Alliance (AFORA), University of the Sunshine Coast, Sippy Downs, QLD, Australia.

² Centro Tecnológico Forestal y de la Madera (CETEMAS), Siero, Asturias, España.

Resumen

El transporte forestal representa entre un 40 y 50% de los costes de suministro de madera rolliza y biomasa desde el monte hacia los centros de consumo, lo cual significa varios millones de euros tanto para la industria forestal asturiana como de España en general. Esto hace fundamental la aplicación de herramientas de optimización que permitan planificar e implementar eficientemente las operaciones de transporte forestal. En este estudio, aplicamos la herramienta computacional MCPLAN, la cual se basa en un modelo de programación lineal, que permite optimizar flujos de transporte, programar la cosecha de los rodales, y optimizar el tiempo de secado de trozas y biomasa en el bosque. La herramienta fue utilizada para un caso de estudio en Asturias, en el cual se consideraron tres escenarios: secado de las trozas y biomasa antes del transporte al centro de consumo, transporte sin secado y secado con pérdidas volumétricas (trozas) y materia orgánica (biomasa). Nuestros resultados indican que la aplicación de MCPLAN permite optimizar los flujos de madera rolliza y biomasa desde las áreas de suministro (monte) a los centros de consumo, reduciendo el tamaño de la flota en un 15% y los costes logísticos de transporte en 2,7 €/m³.

Palabras clave

Logística de transporte, programación lineal, contenido de humedad, costes.

1. Introducción

Las actividades logísticas de producción forestal, en especial el transporte por carretera de los diferentes recursos forestales desde el monte hasta los lugares de consumo, suponen un elevado coste anual para las industrias forestales, el cual puede llegar a representar hasta la mitad de los costes operacionales de la propia cadena de suministro (ACUNA, 2011; AUDY et al., 2012). Tanto es así, que pequeñas mejoras en la eficiencia de la fase de transporte, repercuten positivamente en la reducción de los costes totales del aprovechamiento (RÖNNQVIST et al., 1998). Por tanto, en busca de optimizar el suministro y distribución de dichos recursos, es de gran importancia conseguir organizar de manera eficiente la programación de los camiones encargados de su transporte, sobre todo debido a sus altos costes de inversión inicial y sus costes diarios operacionales.

En el sector forestal (sin considerar la importancia de la vía marítima en importaciones y exportaciones), los medios más empleados son la carretera y el ferrocarril. En general en España, la madera se extrae por carretera mediante camiones (en torno al 90%), debido sobre todo a que este medio de transporte está bien adaptado a las distancias cortas; los camiones son capaces de acceder a más zonas y pueden cambiar con facilidad sus programas (itinerarios, horas de salida, etc.).

En la búsqueda continua por la mejora en la tecnología y las comunicaciones, se impulsa a su vez el desarrollo de sistemas basados en modelos de optimización y algoritmos para apoyar, en particular, la toma de decisiones relacionadas con el transporte (WEINTRAUB et al., 2007). En esta línea, a través de lo que se conoce como modelos de investigación de operaciones –Operations Research (OR)–, se han demostrado, mediante experiencias reales, mejoras significativas en

determinadas decisiones relacionadas sobre todo con la logística y programación del transporte forestal.

Para el desarrollo del caso de estudio, se centra en el transporte con camiones de madera rolliza (trozas con destino a una fábrica de celulosa) y biomasa (pacas de residuos) y se supone que existe una única empresa forestal encargada de organizar los flujos de transporte entre las áreas de suministro y los puntos de demanda para una flota de camiones pertenecientes a uno o varios transportistas. Este enfoque se ha propuesto no sólo para reducir los costes económicos y mejorar la coordinación táctica de camiones y cargas, sino también para reducir de manera indirecta el impacto de dichas operaciones sobre el medio ambiente; reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs), así como de ruido y polvo en las rutas de transporte (EPSTEIN et al., 2007).

Desde el punto de vista de la planificación, este trabajo se enfoca en el problema logístico de transporte que incluye decisiones a nivel mensual y anual. Se presenta una herramienta/software de optimización matemática llamada MCPLAN, la cual constituye un sistema de apoyo a las decisiones relacionadas con la optimización del transporte de madera y biomasa.

El documento se organiza de la siguiente manera: En la sección 2 se presenta los objetivos del estudio, en la sección 3 se describe la metodología del estudio incluyendo el sitio de estudio, las cadenas de suministro estudiadas, una descripción de la herramienta de optimización MCPLAN, y los escenarios analizados. En la sección 4 se presentan los resultados relacionados a las toneladas de madera rolliza y residuos transportadas a las plantas de destino, el número de viajes por carretera en cada escenario y temporada de transporte, y los costes logísticos en cada escenario. Finalmente, en la sección 5 se presentan las conclusiones del trabajo.

2. Objetivos

El objetivo principal de este estudio es aplicar la herramienta de optimización logística MCPLAN y analizar el impacto de su aplicación en la reducción de los costes logísticos (cosecha, secado, transporte y astillado) asociados al suministro de madera rolliza y biomasa desde el monte a las plantas de consumo, considerando tres escenarios de control de la humedad (CH) de estos productos: secado de las trozas y biomasa antes del transporte al centro de consumo, transporte sin secado y secado con pérdidas volumétricas (trozas) y materia orgánica (biomasa). Además, para cada escenario, se investiga el impacto sobre las toneladas transportadas, así como el impacto en el tamaño de la flota producto de la optimización de los flujos de transporte con la herramienta MCPLAN.

3. Metodología

3.1 Sitio de estudio

El sitio de estudio planteado para poder evaluar el caso bajo estudio, considera una planta de celulosa ubicada en la localidad de Navia (Asturias) la cual pertenece al grupo ENCE. El grupo ENCE es líder europeo en la producción de celulosa a partir de especies de *Eucalyptus* y gestiona alrededor de 82.000 ha de bosques en la península ibérica, 60% de los cuales son de propiedad de la compañía. La planta de Navia demanda aproximadamente 1,5 millones de toneladas anuales de trozas de *Eucalyptus* (principalmente *E. globulus*) para la producción de celulosa, de los cuales, aproximadamente 672.000 m³ provienen de rodales ubicados en Asturias. A su vez, tanto los residuos generados en el bosque (corteza, ramas, hojas) como el licor negro generado en el propio proceso de pulpaje son utilizados por dos plantas de energía. Estas plantas permiten abastecer de energía a la planta de celulosa y el excedente se exporta a la línea de transmisión central como energía renovable.

Para resolver el problema abordado en nuestro estudio, la formulación del modelo de optimización implementado considera dos productos: madera rolliza y biomasa, 14 áreas de suministro y un punto de demanda para ambos productos. Tanto la planta de celulosa como la planta de energía se ubican en el mismo lugar geográfico (Navia, Asturias). Las distancias entre el centro de cada área de suministro y el punto de demanda (Figura 1) se calcularon considerando el cálculo de la ruta más corta por carretera, para lo cual se utilizaron los datos de la red de carreteras de la base de datos cartográfica nacional (BCN200, 2010) E: 1:200000 y la herramienta “Closest Facility” del módulo “Network Analyst” del software ArcGIS 10.4, el cual implementa el algoritmo de ruta más corta de Dijkstra (Dijkstra, 1959).

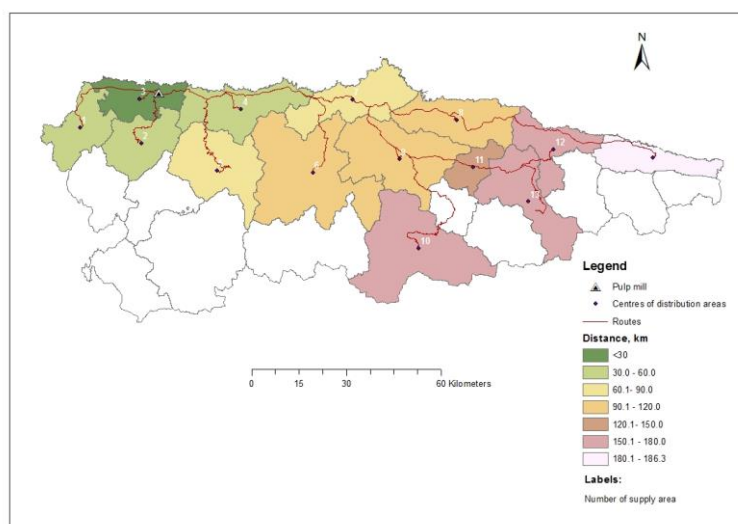


Figura1. Punto de suministro y demanda de trozas y biomasa usadas en el análisis

3.2 Cadenas de suministro

En el noreste de España, los rodales de *Eucalyptus globulus* se manejan principalmente como monte bajo y la cosecha se realiza mediante corta final utilizando el sistema de troza corta (cut-to-length). Lo más habitual es realizar el apeo manualmente mediante el uso de motosierras, mientras que el procesado se hace mecánicamente con máquinas cosechadoras/procesadoras, lo cual da lugar a una gran cantidad de residuos después de la cosecha. Estos residuos pueden ser recogidos como parte integrada en la propia actividad de cosecha de la madera rolliza o de forma separada (SÁNCHEZ-GARCÍA, 2016).

Para efectos de modelización y análisis se consideraron dos cadenas de suministro, una para el suministro de madera rolliza (CSI) y otra para el suministro de biomasa (CSII) (Figura 2).

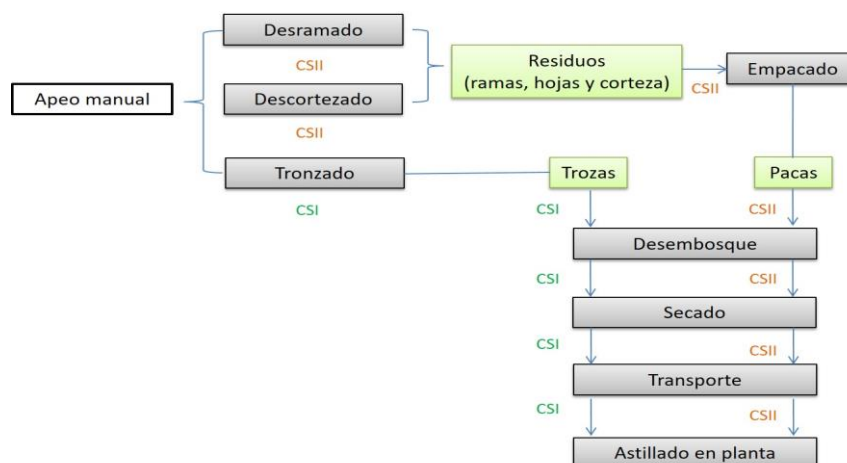


Figura 2. Cadenas de suministro analizadas en el estudio

La CSI de madera rolliza está compuesta por las siguientes actividades:

- Apeo manual con motosierra seguida de procesamiento mecánico, el cual incluye el desramado, descortezado y el tronzado de los árboles. Los residuos permanecen esparcidos en el terreno para su posterior empacado.
- Desembosque de las trozas a pie de pista con un autocargador.
- Apilado y, en su caso, secado de las trozas a pie de pista o en cargadero.
- Transporte de madera rolliza con camiones a la planta de celulosa.

A su vez, la CSII de residuos está compuesta por las siguientes actividades:

- Compactación y empacado de los residuos con una máquina empacadora, siendo el modelo MONRA Enfo2000 el más común en esta zona, el cual utiliza un sistema de corte mediante cizalla.
- Desembosque de las pacas hasta pie de pista con un autocargador convencional de tamaño reducido, lo cual mejora la maniobrabilidad en terrenos como el de Asturias, caracterizados por altas pendientes y difícil acceso.
- Apilado y, en su caso, secado de las pacas a pie de pista o en cargadero.
- Transporte de las pacas a la planta consumidora mediante el uso de camiones con una configuración similar a los utilizados para el transporte de madera rolliza.

3.3 Herramienta de optimización MCPLAN

La optimización de las cadenas de suministro se llevó a cabo utilizando la herramienta computacional MCPLAN desarrollada por ACUNA (2017). Esta herramienta permite reducir los costes de transporte, identificando ineficiencias y mejorando la toma de decisiones dentro del ámbito de planificación a nivel táctico. Adicionalmente, los planificadores del transporte pueden realizar análisis de sensibilidad con la herramienta, pudiendo establecer los parámetros y restricciones operacionales que tiene mayor incidencia en los costes logísticos.

MCPLAN es una herramienta diseñada para optimizar las cadenas de suministro de madera rolliza y biomasa (residuos). Proporciona soluciones espaciales y temporales, las cuales incluyen entre otras, volúmenes a cosechar por período y áreas de suministro, tiempos de secado para madera rolliza y biomasa, y flujos de suministro a puntos de demanda. MCPLAN ejecuta un modelo de programación lineal (PL) implementado con macros Visual Basic™ y resuelto con el complemento de optimización What's best™ para MS Excel™. La función objetivo del problema de PL minimiza el coste

logístico total, el cual incluye los costes de cosecha, secado, transporte y astillado de madera rolliza y biomasa. Además, el modelo incluye restricciones para asegurar que no se excede el volumen de madera rolliza y residuos disponibles en cada área de suministro y que se satisface la demanda mensual de las plantas de consumo por estos productos (56.000 m³ de madera rolliza y 13.560 m³ de residuos). También existen otras restricciones opcionales que se pueden agregar al modelo según el caso, con la intención por ejemplo de asegurar que los residuos sólo se puedan secar por un periodo igual o menor al de la madera rolliza, y/o que tanto la madera rolliza como los residuos sean transportados a las plantas con un contenido de humedad específico. Detalles de la formulación del modelo matemático de PL implementado en MCPLAN se presentan en ACUNA (2017).

MCPLAN permite estudiar y analizar el efecto del CH sobre el almacenamiento, astillado y los costes de transporte de madera rolliza y biomasa entregada a fábricas y plantas energéticas bajo diferentes escenarios de CH, operativos y de secado (ACUNA et al, 2011; SOSA et al. 2015). Para ello, el modelo utiliza curvas de CH de trozas y biomasa como el parámetro más determinante para la optimización de los costes de la cadena de suministro. En el caso de nuestro problema, se utilizó el mismo set de curvas de secado tanto para madera rolliza como para residuos. Además, MCPLAN utiliza un número de parámetros de entrada relacionados con las propiedades de las trozas y biomasa, la configuración de los camiones y parámetros financieros, los cuales fueron obtenidos a partir de estudios propios del Centro Tecnológico Forestal y de la Madera de Asturias (CETEMAS) (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros de entrada para madera rolliza y residuos utilizados en MCPLAN

Parámetro	Madera rolliza	Residuos
Densidad básica (kg/m ³)	565	350
Factor de contenido solido astillas	0,42	0,42
Peso neto camión (toneladas)	25,5	25,5
Volumen de carga del camión (m ³)	65,5	65,5
Distancia al centro de consumo (km)	9-186	9-186
Reducción volumétrica o de materia seca (%/mes)	0-0,5	0-0,5
Tasa de interés (%/mes)	0,5	0,5

La solución óptima obtenida con MCPLAN especifica el volumen de madera rolliza y de residuos a cosechar, recolectar y secar para cada uno de los meses del horizonte de planificación estipulado por el usuario. En la versión básica de MCPLAN se asume un horizonte de planificación de 24 meses, el cual corresponde al tiempo máximo de secado de trozas y biomasa en el monte. Los últimos 12 meses de este horizonte de planificación corresponden al año de producción y consumo, en el cual se debe satisfacer la demanda de las plantas por trozas y biomasa. Tanto la madera rolliza como las pacas se consumen durante el mismo mes en que llegan a las plantas y, por lo tanto, no hay costes asociados con el almacenamiento de madera rolliza en la planta de celulosa o de pacas de residuos en la planta de energía.

Parte de los resultados obtenidos con MCPLAN corresponden a los flujos de transporte o cargas de camión de madera rolliza y biomasa entre las áreas de suministro y los puntos de demanda para cada uno de los meses de producción de las plantas. Posteriormente, estas cargas de camión mensuales pueden convertirse a tareas de transporte diarias entre áreas de suministro y puntos de demanda, pudiendo optimizarse las rutas de transporte diario de los camiones con herramientas como FastTRUCK (ACUNA, 2017).

3.4 Escenarios analizados

El análisis de nuestro enfoque de optimización de la cadena de suministro consideró tres escenarios, los cuales se compararon en término de los tiempos óptimos de secado, volúmenes de madera rolliza y biomasa suministrados mensualmente a los puntos de demanda, número de viajes por carretera, y costes logísticos:

- Escenario 1: Se asume que tanto las trozas como las pacas se apilan para su secado en el monte antes de su transporte a las plantas. Además, se asume que como resultado de su secado en el monte, no hay reducción volumétrica de las trozas ni de materia seca de los residuos.
- Escenario 2: Se asume que tanto las trozas como las pacas se transportan inmediatamente después de la cosecha, y por lo tanto con un alto CH.
- Escenario 3: Se asume que tanto las trozas como las pacas se apilan para su secado en el monte antes de su transporte a las plantas. Además, se asume un 0,5% de reducción volumétrica de las trozas y de materia seca de los residuos por cada mes de secado en el monte. La pérdida de materia seca (degradación de la lignina, la celulosa y la hemicelulosa) ocurre cuando la biomasa húmeda, en cualquier forma, no se usa inmediatamente.

4. Resultados y discusión

4.1 Madera rolliza y residuos transportados mensualmente en cada escenario

Un resumen con el tonelaje de madera rolliza y residuos transportados mensualmente a las plantas se presenta en la Figura 3. En todos los escenarios se obtuvo una correlación bastante alta entre el tonelaje y el CH de la madera rolliza y residuos transportados a las plantas de celulosa y de energía. Analizando los escenarios 1 y 3, para el caso de la madera rolliza, el tonelaje transportado disminuyó gradualmente entre enero y abril, con un promedio de 61.941 toneladas en el escenario 1 y 65.011 toneladas en el escenario 3, y permaneció bajo durante los meses de verano (mayo a agosto) con un promedio de 53.900 toneladas en el escenario 1 y 57.595 toneladas en el escenario 3. De septiembre a diciembre comienza un aumento gradual del tonelaje, con un promedio de 62.347 toneladas transportadas en el escenario 1 y 66.502 toneladas en el escenario 3. Estas tendencias fueron muy similares en el caso de los residuos.

En cuanto al escenario 2, debido al CH mucho más alto de la madera rolliza y los residuos, el tonelaje total anual transportado en este escenario (818.965 toneladas de madera rolliza y 122.845 toneladas de residuos) fue 14,9% y 8,2% mayor que en el escenario 1 (712.753 toneladas de madera rolliza y 106.913 toneladas de residuos) y que en el escenario 3 (756.434 toneladas de madera rolliza y 113.399 toneladas de residuos), respectivamente.

De lo anterior se deduce que en el caso de la madera rolliza, para satisfacer la demanda volumétrica anual de la planta de celulosa en los tres escenarios (672.000 m³ sólidos de madera rolliza), es necesario transportar 106.212 toneladas adicionales si es que no se secan las trozas en el monte antes del transporte (escenario 2) y 62.532 toneladas adicionales cuando la madera rolliza se deja secar en el monte antes del transporte, pero se producen reducciones volumétricas durante ese período de secado (escenario 3).

Estudios anteriores (ACUNA et al., 2012; SOSA et al., 2015) también evaluaron el efecto del CH sobre el volumen y el tonelaje de madera rolliza y biomasa transportada a centros de consumo, obteniendo resultados similares a los del presente estudio. En un estudio logístico del suministro de biomasa en Finlandia, ACUNA et al. (2012) concluyó que el volumen de biomasa entregado a la planta de energía era muy sensible al CH y período de almacenamiento. Además, en dicho estudio la demanda de biomasa en la planta de energía se satisfizo con un 33% menos de volumen de residuos

cuando se usaron métodos apropiados de almacenamiento y secado. La magnitud de estos ahorros también estuvo determinada por la especie, el CH inicial de la madera rolliza y residuos después de la cosecha, así como de sus tasas de secado en diferentes estaciones del año.

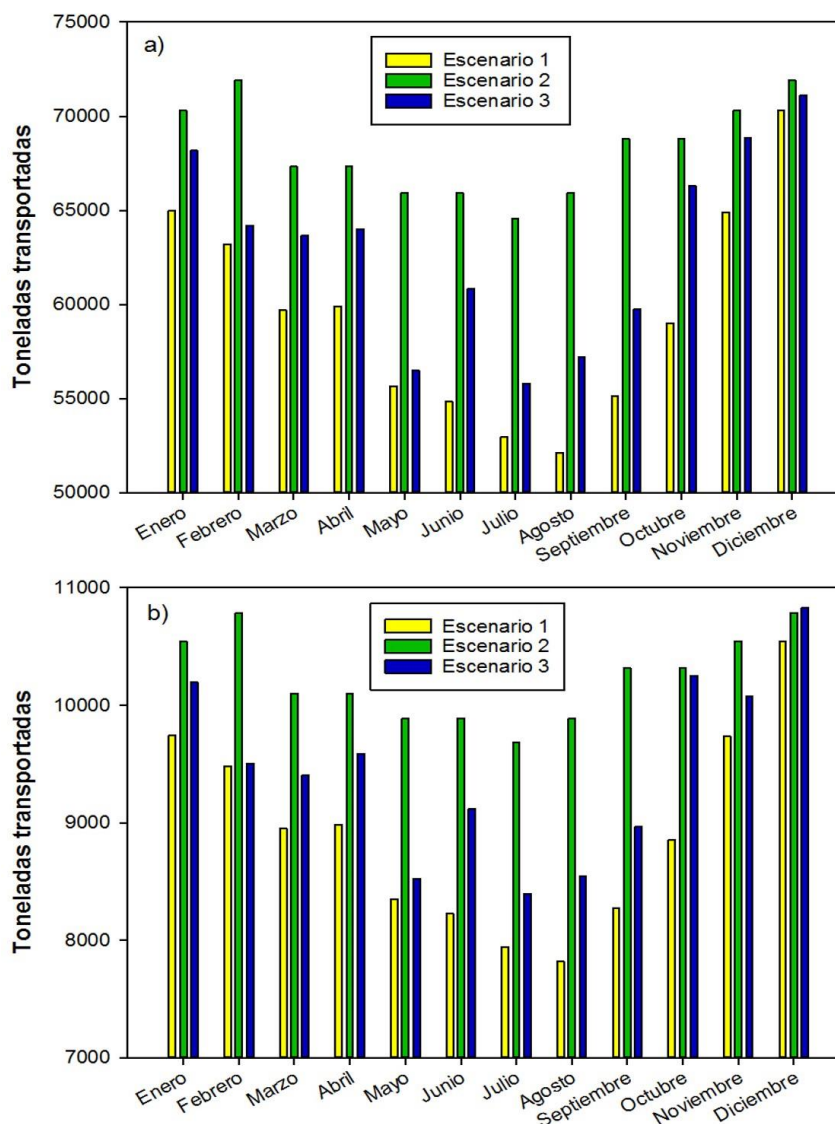


Figura 3. Toneladas de madera rolliza (a) y biomasa (b) transportadas por mes en cada escenario

4.2 Número de viajes por escenario y temporada de transporte

La Figura 4 presenta el número de viajes por carretera (suma de madera rolliza y pacas) por escenario y temporada de transporte. El escenario sin secado (escenario 2) resultó en 4.790 viajes adicionales en comparación al escenario 1 y 1.967 viajes adicionales en comparación al escenario 3. En todos los escenarios, el transporte de la madera rolliza y de pacas representó el 87% y el 13% de los viajes a las plantas, respectivamente.

La mayor proporción de viajes por carretera ocurrió durante los meses de invierno (enero, febrero, noviembre y diciembre), con valores que oscilaron entre 34,7% (escenario 2) y 37% (escenario 1) respecto al número de viajes anuales, mientras que la menor proporción de viajes se produjo durante los meses de verano (de mayo a agosto) con valores que oscilaron entre 30,2%

(escenario 1) y 32,0% (escenario 2). El número de viajes por temporada fue bastante similar entre los escenarios 1 y 3, los cuales presentaron diferencias importantes con los calculados para el escenario 2, en particular durante los meses de invierno y verano.

En la Tabla 2 se observa que existe una estrecha relación entre el número de viajes y el CH de la madera rolliza y residuos transportados en cada temporada. En todos los escenarios, la solución óptima de MCPLAN resultó en una disminución en el número de viajes durante los meses de verano y otoño/primavera para compensar los mayores costes de transporte que se producen durante los meses de invierno. En este último caso, debido al mayor CH de la madera rolliza y de los residuos transportados, se produce un aumento sustancial del número de viajes hacia a las plantas.

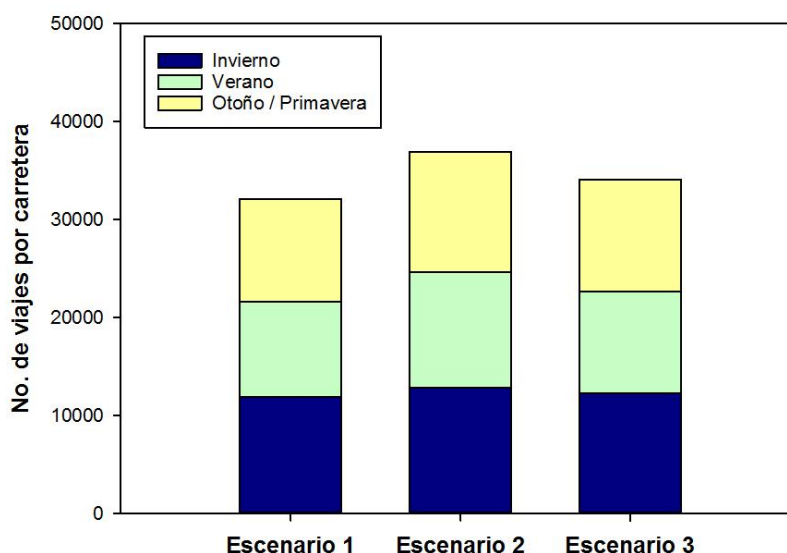


Figura 4. Número de viajes en las distintas temporadas para los tres escenarios considerados.

Tabla 2. CH y número de viajes para cada temporada de transporte y escenario

Escenario	Temporada					
	Invierno		Verano		Otoño/Primavera	
	CH%	No. viajes	CH%	No. viajes	CH%	No. viajes
1	51,8	11.878	41,3	9.723	45,8	10.542
2	55,5	12.828	51,8	11.830	53,5	12.276
3	53,4	12.272	44,9	10.391	50,0	11.449

4.3 Costes logísticos por escenario y área de suministro

La Figura 5 presenta un resumen de los costes logísticos para la cadena de suministro de madera rolliza en cada escenario. Los costes para la cadena de suministro de biomasa son bastante menores comparados a los de la cadena de suministro de madera rolliza, aunque siguen la misma tendencia que en el caso de esta última.

Los menores costes logísticos totales se obtuvieron en el escenario 1 con un coste total de 41,7 €/m³. Los escenarios 2 y 3 presentaron costes totales que fueron 2,7 €/m³ y 1,3 €/m³ mayores que en el caso del escenario 1, lo cual representa un incremento de un 6,5% y un 3,1%, respectivamente.

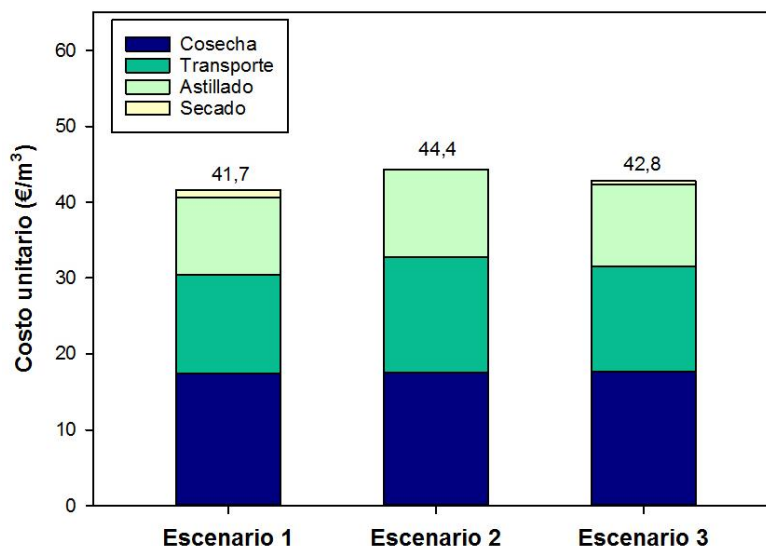


Figura 5. Costes logísticos para la cadena de suministro de madera rolliza en los tres escenarios considerados.

De acuerdo a estos resultados, sólo considerando el volumen anual transportado a la planta de celulosa de Navia desde áreas de suministro ubicadas en Asturias (672.000 m³), la posibilidad de optimizar el período de cosecha en cada área de suministro, el período de secado en el monte y el transporte hacia la planta de celulosa con MCPLAN (escenario 1), permitiría un ahorro anual cercano a los 1.8 millones de euros en comparación al escenario 2. Este ahorro se reduciría a 873.600 euros anuales en el caso de haber reducciones volumétricas producto del secado (escenario 3).

Además, se puede observar en la Figura 5 que aunque la cosecha representa el mayor componente del coste logístico total, no existen diferencias entre los 3 escenarios estudiados. Esto se debe a que básicamente el CH de las trozas no produce mayores impactos en la productividad del apeo manual y procesado realizado con equipos mecanizados. Esta situación también se explica por el hecho de que generalmente, los costes de cosecha se determinan por volumen unitario (€/m³), siendo el volumen total transportado a la planta de celulosa similar en los tres escenarios.

En el caso del coste de astillado sí existen diferencias entre los tres escenarios estudiados, ya que estos varían según el CH de madera rolliza. La realidad es que las propias plantas de celulosa reconocen que una reducción en el CH de las trozas resulta en mayores costes de astillado, como consecuencia de unos mayores costes de mantenimiento y cambio de cuchillas. En cambio, no se han encontrado en la literatura estudios que hagan referencia a dicha relación entre el coste de astillado y el CH de las trozas. Por ello, en nuestro estudio definimos arbitrariamente 3 clases de coste de astillado de acuerdo al CH de las trozas (>50%CH, 35-50% CH, y <35%CH).

Claramente, el efecto principal de optimizar el secado en el monte y los flujos de transporte de madera rolliza y biomasa desde áreas de suministro a puntos de consumo, se produce en la reducción de los costes de transporte. Esto se debe principalmente a que el secado de las trozas permite aumentar la capacidad volumétrica de los camiones en cada viaje, lo cual reduce el coste de transporte por metro cúbico de madera rolliza transportada. En el caso del transporte de madera rolliza verde (escenario 2), la mayor parte de los camiones solo ocupan entre el 60% y el 80% de la capacidad volumétrica del camión sin exceder la carga máxima legal, lo cual produce un aumento importante de los costes de transporte por metro cúbico. A nivel mundial, varias compañías han identificado esta problemática y están comenzando a implementar programadas de secado de madera rolliza y biomasa en el monte. Algunas de ellas, también han empezado a utilizar tecnologías de última generación como sistemas laser, cámaras estereoscópicas y programas de reconstrucción

3D, para la medición automática del volumen sólido de los camiones una vez que estos llegan a las plantas de celulosa y aserraderos. También se han comenzado a implementar sistemas de pago y acuerdos comerciales en base a las mediciones volumétricas realizadas con estas tecnologías.

5. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en este estudio se puede concluir que la aplicación de herramientas de optimización logística como MCPLAN permite optimizar los flujos de madera rolliza y biomasa desde las áreas de suministro (montes) a los centros de consumo, reduciendo el tamaño de la flota en un 15%, y los costes logísticos de transporte en 2.7 €/m³.

6. Bibliografía

ACUNA, M.; BROWN, M.; MIROWSKI, L.; 2011. Improving forestry transport efficiency through truck schedule optimization: a case study and software tool for the Australian industry. Austro 2011 & FORMEC 2011, October 9-12, Graz, Austria.

ACUNA, M.; ANTTILA, P.; SIKANEN, L.; PRINZ, R.; ASIKAINEN A.; 2012. Predicting and controlling moisture content to optimise Forest biomass logistics. Croat. J. For. Eng. 33(2012/2): 225-238.

ACUNA, M.; 2017. Timber and biomass transport optimization. Croat. J. For. Eng. Submitted for publication.

AUDY, J.; D'AMOURS, S.; RÖNNQVIST, M.; 2012. Planning methods and decision support systems in vehicle routing problems for timber transportation: a review. Quebec, Canada, Interuniversity Research Centre on Enterprise Networks, Logistics and Transportation: 38-45.

Epstein, R.; Karlsson, J.; Rönnqvist, M.; Weintraub, A.; 2007. Forest transportation. In Handbook on Operations Research in Natural Resources. Weintraub, A.; Romero, C.; Bjørndal, T.; Epstein, R. (eds), pp. 391-403, Springer, New York.

RÖNNQVIST, M.; SAHLIN, H.; CARLSSON, D.; 1998. Operative planning and dispatching of forestry transportation. Research paper LiTH-MAT-R-1998-18, Linköping University, Sweden.

SÁNCHEZ-GARCÍA, S.; 2016. Estudio de la potencialidad del uso de la biomasa en Asturias: análisis SIG, rendimientos, costes y logística. Tesis doctoral. Universidad de Oviedo. 112 pp.

SOSA, A.; ACUNA, M.; MCDONELL, K.; DEVLIN, G.; 2015. Managing the moisture content of wood biomass for the optimisation of Ireland's transport supply strategy to bioenergy markets and competing industries. Energy 86(2015): 354-368.

WEINTRAUB, A.; ROMERO, C.; BJØRNDAL, T.; EPSTEIN, R.; 2007. Handbook of Operation Research in Natural Resources. Springer, New York.